

АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ НАНЕСЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ НА МАТЕРІАЛАХ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В роботі розглядаються проблеми автоматичного контролю якості нанесення полімерних покриттів на матеріали легкої промисловості. Розглянуті методи, що дозволяють ідентифікувати, сегментувати і аналізувати області нанесення полімеру, а також визначати текстуру і орієнтацію волокон текстильного матеріалу. Розпізнавання полімерного покриття на матеріалах є складним завданням через варіації текстури текстилю, орієнтації волокон і характеристик самого покриття (наприклад, прозорості або товщини). Для ефективної автоматизованої інспекції ми використовуємо різні алгоритми обробки зображень і машинного навчання. Попередня обробка зображень включає нормалізацію яскравості, фільтрацію шуму і перетворення в градації сірого для спрощення подальшого аналізу. Перетворення у відтінки сірого спрощує обробку зображення, оскільки програма працюватиме з одноканальним зображенням. Використання фільтрів, таких як Gaussian Blur, допомагає зменшити вплив дрібних перешкод і дефектів на текстильній основі. Програма для розпізнавання зображень полімерних покриттів базується на використанні бібліотек OpenCV, Tkinter та NumPy. Вона включає в себе завантаження зображень, попередню обробку зображень, сегментацію та аналіз зон покриття. Програма дозволяє інтерактивне використання через графічний інтерфейс і забезпечує візуалізацію результатів у вигляді кольорових масок. Розроблена програма «Polymer Coating Analyzer» на Python, що використовує сучасні методи обробки зображень, є ефективним інструментом для автоматизованого аналізу покриттів. Інтеграція таких систем у виробничі лінії дозволяє знизити кількість дефектів, підвищити якість продукції та оптимізувати процеси контролю. Проведено розпізнавання зображень з різною якістю покриття.

Ключові слова: програма, комп'ютерний зір, розпізнавання, полімер, матеріал, сегментація, автоматизація.

HORIASHCHENKO SERHIY
Khmelnitskyi National University

AUTOMATION OF QUALITY CONTROL OF THE APPLICATION OF POLYMER COATINGS ON LIGHT INDUSTRY MATERIALS

The paper considers the problems of automatic application quality control of polymer coatings on materials of light industry. The methods that allow identification, segmentation and analysis of areas of polymer application, as well as to determine the texture and orientation of textile material fibers are considered. Recognizing a polymer coating on materials is a challenging task due to variations in textile texture, fiber orientation, and characteristics of the coating itself (such as transparency or thickness). We use various image processing and machine learning algorithms for efficient automated inspection. Image preprocessing includes brightness normalization, noise filtering, and grayscale conversion to facilitate further analysis. Converting to shades of gray simplifies image processing, since the program will work with a single-channel image. The use of filters such as Gaussian Blur helps to reduce the effect of small obstacles and defects on the textile base. The program for image recognition of polymer coatings is based on the use of OpenCV, Tkinter and NumPy libraries. It includes image loading, image preprocessing, segmentation, and coverage area analysis. The program allows interactive use through a graphical interface and provides visualization of results in the form of color masks. The Polymer Coating Analyzer developed in Python, using modern image processing techniques, is an effective tool for automated coating analysis. The integration of such systems into production lines allows to reduce the number of defects, improve product quality and optimize control processes. Recognition of images with different coverage quality was carried out. The successful integration of such systems into production allows to increase the efficiency of quality control, reduce the number of defects and optimize the coating process.

Keywords: program, computer vision, recognition, polymer, material, segmentation, automation .

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Автоматизація технологічних процесів у легкій промисловості набирає все більшого значення в умовах зростаючих вимог до якості продукції та ефективності виробництва. Одним із ключових аспектів цих процесів є контроль нанесення полімерних покриттів на матеріали текстилю та шкіри. Полімерні покриття застосовуються для поліпшення функціональних властивостей матеріалу, таких як водовідштовхувальні, антикорозійні та антибактеріальні властивості, підвищення міцності та зносостійкості. Якість нанесення таких покриттів безпосередньо впливає на функціональність кінцевого продукту, тому точний контроль покриття є критично важливим.

Традиційні методи контролю якості полімерних покриттів включають візуальний огляд та фізико-хімічні випробування зразків, які є трудомісткими, повільними та залежать від людського фактору. Це призводить до значних витрат часу та ресурсів, а також підвищує ризик пропуску дефектів. У контексті сучасної промисловості, що прагне до підвищення автоматизації та використання інноваційних технологій, комп'ютерний зір та алгоритми машинного навчання стають перспективними інструментами для підвищення точності та ефективності контролю.

Однією з основних проблем при розпізнаванні полімерного покриття є складність текстури матеріалу. Текстильні волокна можуть мати різну орієнтацію, колір та щільність, що ускладнює виявлення покриття. Крім того, полімерні покриття можуть бути прозорими або напівпрозорими, що робить їх менш контрастними

відносно текстильної основи. Це вимагає застосування складних алгоритмів сегментації зображень, здатних відокремлювати покриття від текстилю, а також розпізнавати тонкі дефекти або пропуски.

Враховуючи зростання ролі автоматизації та підвищення вимог до якості продукції, актуальність теми розпізнавання полімерних покриттів на текстильних матеріалах є надзвичайно високою. Розробка та впровадження таких систем не лише буде підвищувати точність контролю, але й дозволить оптимізувати технологічні процеси нанесення полімерів, скоротити втрати та покращити кінцеві характеристики продукту

Аналіз досліджень та публікацій

У процесі автоматичного контролю полімерного покриття на матеріали легкої промисловості ключовим аспектом є правильний вибір методів розпізнавання зображень. Ці методи дозволяють ідентифікувати, сегментувати та аналізувати області нанесення полімеру, а також визначати текстуру й орієнтацію волокон текстильного матеріалу. Перед початком основного аналізу, зображення зазвичай проходить попередню обробку. Це важливий етап, який допомагає покращити якість зображення, видалити шум і підготувати його для подальших операцій.

Існує широкий спектр методів обробки зображень [1, 2, 3], таких як сегментація, аналіз текстури та методи машинного навчання, які можуть бути використані для аналізу полімерних покриттів. Глибокі нейронні мережі (CNN), сегментаційні моделі на основі U-Net, а також класичні алгоритми обробки зображень забезпечують гнучкість та точність виявлення дефектів. Сегментація є одним із найважливіших етапів у розпізнаванні полімерного покриття. Метою сегментації є відокремлення областей покриття від основного матеріалу. [4]

Метод порогової обробки (Thresholding) [4] є один з найпростіших методів сегментації, що використовується для поділу зображення на полімерне покриття та фон. Він працює шляхом встановлення певного порогу яскравості, після чого пікселі, що перевищують цей поріг, вважаються належними до полімерного покриття, а решта — до фону. Використання глобального порогу може бути недостатньо ефективним, тому часто застосовують «адаптивне порогове значення», яке дозволяє враховувати локальні варіації освітлення.

«Метод кластеризації K-means» [5] підходить для сегментації більш складних зображень, де полімерне покриття і текстиль мають різні кольорові або текстурні властивості. K-means кластеризує пікселі за схожістю кольору або текстури, що дозволяє відокремити зони покриття від текстильної основи.

«Алгоритм активних контурів (Active Contour Model, Snakes)» [6] заснований на знаходженні контурів об'єктів на зображенні. Використовується для виявлення меж між різними областями, наприклад, для виділення країв полімерного покриття. Він підходить для ситуацій, коли межі покриття нечіткі або нерівні.

Реалізація системи технічного зору для розпізнавання полімерного покриття на матеріали легкої промисловості є багатокроковим процесом, який включає вибір обладнання, алгоритмів обробки зображень і методів машинного навчання. Успішна інтеграція таких систем у виробництво дозволить підвищити ефективність контролю якості, знизити кількість дефектів та оптимізувати процес нанесення покриття [7].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розробка програмного продукту, що може провести розпізнавання зображення на предмет наявних зон полімерного покриття.

Виклад основного матеріалу

Розпізнавання полімерного покриття на матеріалах є складним завданням через варіації текстури текстилю, орієнтацію волокон та характеристики самого покриття (наприклад, прозорість або товщину). Для ефективного автоматизованого контролю використовуємо різні алгоритми обробки зображень та машинного навчання. Попередня обробка зображення включає нормалізацію яскравості, фільтрацію шуму і перетворення до сірого кольору для спрощення подальшого аналізу. Перетворення до сірого кольору спрощує обробку зображень, оскільки програма буде працювати з одноканальним зображенням. Використання фільтрів, таких як Gaussian Blur, допомагає зменшити вплив дрібних перешкод і дефектів на текстильній основі.

Програма для розпізнавання зображення полімерного покриття базується на використанні бібліотек OpenCV, Tkinter та NumPy. Вона включає завантаження зображення, його попередню обробку, сегментацію та аналіз зон покриття. Програма надає можливість інтерактивного використання через графічний інтерфейс і забезпечує візуалізацію результатів у вигляді кольорових масок.

Програма виводить результати сегментації та аналізу у графічному інтерфейсі у вигляді обробленого зображення з виділеними зонами полімерного покриття.

Програма використовує популярні Python-бібліотеки для реалізації функціоналу:

- OpenCV: Для обробки зображень, сегментації, аналізу текстури.
- Tkinter: Для створення графічного інтерфейсу.
- NumPy: Для математичних операцій з масивами даних, які представляють зображення.

Програма «Polymer Coating Analyzer» починається з графічного інтерфейсу (GUI), який дозволяє користувачеві зручно вибирати файл для обробки. Завантаження зображення здійснюється за допомогою бібліотеки `tkinter` через вікно вибору файлу (рис.1.).

```

# Функція для обробки зображення
def process_image(image_path):
    image = cv2.imread(image_path)
    gray_image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blurred = cv2.GaussianBlur(gray_image, (5, 5), 0)

    # Поріг для виявлення зон нанесення покриття
    _, thresholded = cv2.threshold(blurred, 150, 255, cv2.THRESH_BINARY_INV)
    contours, _ = cv2.findContours(thresholded, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    # Малюємо контури
    contoured_image = image.copy()
    cv2.drawContours(contoured_image, contours, -1, (0, 255, 0), 2)

    # Обчислюємо орієнтацію волокон
    sobel_x = cv2.Sobel(gray_image, cv2.CV_64F, 1, 0, ksize=5)
    sobel_y = cv2.Sobel(gray_image, cv2.CV_64F, 0, 1, ksize=5)
    orientations = np.arctan2(sobel_y, sobel_x)
    orientation_map = np.uint8(255 * (orientations - np.min(orientations)) / (np.max(orientations) - np.min(orientations)))

```

Рис.1. Фрагмент коду програми

Інтерфейс дозволяє вибрати файл зображення, натиснути кнопку для обробки зображення та побачити результати у вигляді зображень зон нанесення полімерного покриття та орієнтації текстильних волокон. Для визначення орієнтації текстильних волокон програма використовує фільтри Габора, які виявляють напрямок структурованих патернів на матеріалі. (рис.2)

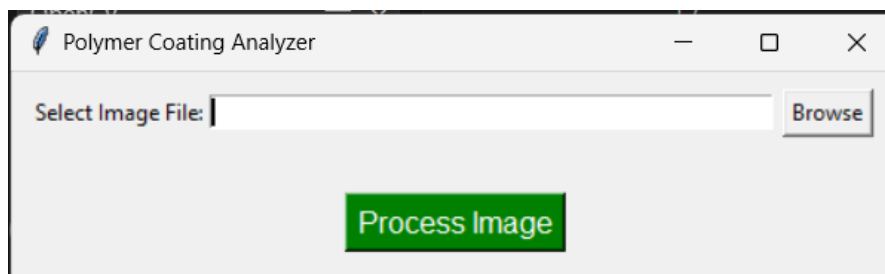


Рис.2. Інтерфейс програми «Polymer Coating Analyzer»

Приклад реалізації такої програми показано на рис.2. Програма виводить результати сегментації та аналізу у графічному інтерфейсі у вигляді обробленого зображення з виділеними зонами полімерного покриття.

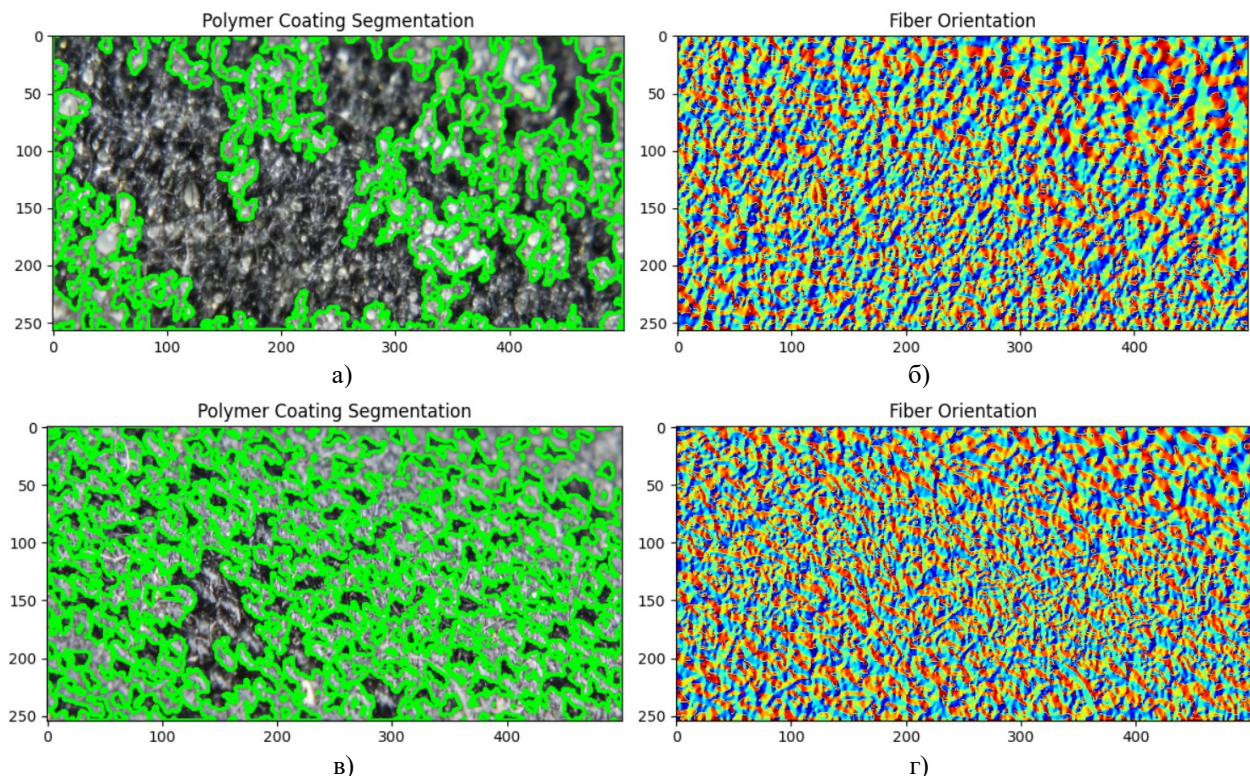


Рис.3. Результати роботи програми «Polymer Coating Analyzer»: а) фото текстильного матеріалу з недостатнім покриттям, б) результат орієнтації текстилю; в) фото текстильного матеріалу з достатнім покриттям, г) результат орієнтації текстилю;

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розпізнавання полімерного покриття на текстильній основі — це комплексне завдання, яке потребує використання різноманітних алгоритмів обробки зображень і методів машинного навчання. Поєднання класичних методів сегментації, аналізу текстур та сучасних підходів на основі глибоких нейронних мереж дозволяє забезпечити високий рівень точності в контролі якості полімерних покриттів у текстильній промисловості. Розроблена програма «Polymer Coating Analyzer» на Python, що використовує сучасні методи обробки зображень, є ефективним інструментом для автоматизованого аналізу покриттів. Інтеграція таких систем у виробничі лінії дозволяє знизити кількість дефектів, підвищити якість продукції та оптимізувати процеси контролю. Проведено розпізнавання зображень з різною якістю покриття.

Література

1. Erich Schubert, Jörg Sander, Martin Ester, Hans Peter Kriegel, and Xiaowei Xu. 2017. DBSCAN Revisited, Revisited: Why and How You Should (Still) Use DBSCAN. *ACM Trans. Database Syst.* 42, 3, Article 19 (September 2017), 21 pages. <https://doi.org/10.1145/3068335>
2. Ковалюк, Д. О., Ковалюк, О. О., & Малішевський, В. С. (2024). Реалізація систем контролю якості продукції на основі машинного зору та web-технологій. *Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (1), 28–34. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2024.300980>
3. Akundi, A., & Reyna, M. (2021). A Machine Vision Based Automated Quality Control System for Product Dimensional Analysis. *Procedia Computer Science*, Volume 185, Pages 127-134. ISSN 1877-0509: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.05.014>
4. Мостовий В. В. Сегментація медичних зображень / В. В. Мостовий, С. Л. Горященко // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2020. – № 5. – С. 51-56.
5. Денисюк, О., Наконечний, Р. (2023). Аналіз та удосконалення методів та засобів усунення спотворень в сигналах зображень та відео. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*, (38), 58-72. <https://doi.org/10.15407/fmmit2023.38.058>
6. Березький О.М. Методи сегментації біомедичних зображень/ О.М. Березький, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько// *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2010. – № 1. – С. 251-258
7. Mechatronic System for Management and Control of a Device for Applying a Polymer Coating/ Horiashchenko, Serhiy; Paraska, Olga; Horiashchenko, Kostyantyn; Onofriichuk, Volodymyr; Synyuk, Oleh; Pavlenko, Volodymyr// *Proceedings of the 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2023* 2023 5th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2023 Kremenichuk 27 September 2023 through 30 September 2023 DOI 10.1109/MEES61502.2023.10402550

References

1. Erich Schubert, Jörg Sander, Martin Ester, Hans Peter Kriegel, and Xiaowei Xu. 2017. DBSCAN Revisited, Revisited: Why and How You Should (Still) Use DBSCAN. *ACM Trans. Database Syst.* 42, 3, Article 19 (September 2017), 21 pages. <https://doi.org/10.1145/3068335>
2. Kovaliuk, D. O., Kovaliuk, O. O., & Malishevskiy, V. S. (2024). Realizatsiia system kontroliu yakosti produktsii na osnovi mashynnoho zoru ta web-tekhnologii. *Visnyk NTUU “KPI imeni Ihoria Sikorskoho”*. Serii: Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia, (1), 28–34. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2024.300980>
3. Akundi, A., & Reyna, M. (2021). A Machine Vision Based Automated Quality Control System for Product Dimensional Analysis. *Procedia Computer Science*, Volume 185, Pages 127-134. ISSN 1877-0509: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.05.014>
4. Mostovyi V. V. Sehmentatsiia medychnykh zobrazhen / V. V. Mostovyi, S. L. Horiashchenko // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2020. – № 5. – S. 51-56.
5. Denysiuk, O., & Nakonechnyi, R. (2023). Analiz ta udoskonalennia metodiv ta zasobiv usunennia spotvoren v syhnalakh zobrazhen ta video. *Fyzyko-matematychno modeliuвання ta informatsiini tekhnologii*, (38), 58-72. <https://doi.org/10.15407/fmmit2023.38.058>
6. Berezkyi O.M. Metody sehmentatsii biomedychnykh zobrazhen/ O.M. Berezkyi, H.M. Melnyk, Yu.M. Batko// *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. – 2010. – № 1. – S. 251-258
7. Mechatronic System for Management and Control of a Device for Applying a Polymer Coating/ Horiashchenko, Serhiy; Paraska, Olga; Horiashchenko, Kostyantyn; Onofriichuk, Volodymyr; Synyuk, Oleh; Pavlenko, Volodymyr// *Proceedings of the 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2023* 2023 5th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2023 Kremenichuk 27 September 2023 through 30 September 2023 DOI 10.1109/MEES61502.2023.10402550